

羌塘岩带碰撞后超钾质火山岩 地球化学特征及成因探讨

刘 焱^{1,2}, 胡瑞忠¹, 迟效国³, 李才³, 冯彩霞^{1,2}, 王天武³

(1. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘 要: 羌塘超钾质火山岩为板块碰撞后的产物, 地球化学特征表明, 其同时具有板内火山岩和俯冲带岛弧火山岩的双重地球化学特性。化学组成上富含轻稀土和大离子亲石元素而亏损 Cr、Ni 等相容元素。在成因上受分离结晶作用和源区混合作用共同制约。源区为受古俯冲上地壳物质和下地幔上升流体交代混合的 EMII 型富集地幔端元, 可能富含角闪石和金云母等矿物。

关键词: 羌塘; 超钾质火山岩; 地球化学; 富集地幔; 岩石成因

中图分类号: P584; P59 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 1552(2003)02 - 0167 - 09

渐新世以来高原区域构造性质发生了转变, 藏北进入以南北向伸展为主的演化阶段, 该阶段以藏北碱性钾质火山活动带的形成为标志 (迟效国等, 1999)。“羌塘”藏语为无人区, 羌塘岩带地处高原腹地, 气候和交通条件比较恶劣, 关于羌塘超钾质火山岩目前虽已有一定程度的研究 (丁林等, 1999), 认为鱼鳞山超钾质火山岩为地幔岩低度 (<2%) 部分熔融作用的产物, 通过本文研究, 作者认为并非如此。

1 地质背景

青藏高原是典型的陆陆碰撞区, 碰撞后钾质 - 超钾质火山岩主要出露在班公湖 - 怒江断裂带以北的羌塘地区及藏东、滇西地区 (丁林等, 1999)。羌塘岩带火山岩构造上受 EW 向边界断裂控制, 火山岩呈近东西向展布 (图 1); 本文所研究的超钾质火山岩出露在羌塘岩带中部的鱼鳞山和巴毛穷宗岩区

(图 1), 两岩区以 NW 向断裂为界。通过 K - Ar 法测定 (迟效国等, 1999; 丁林等, 1999), 鱼鳞山岩区火山岩年龄为 19 ~ 24 Ma; 巴毛穷宗岩区火山岩年龄相对较早 (23 ~ 29 Ma)。

2 主量、微量元素和同位素地球化学

本文所测数据见表 1, 2, 3。主量元素在中国地质科学院地质实验测试中心用 XRF 方法完成, 分析方法见另文; 微量元素和同位素在中国科学院广州地球化学研究所同位素分析中心分别采用 ICP - MS 和同位素稀释法完成, 稀土元素的分析精度优于 5%, 微量元素分析精度优于 10% (刘颖等, 1996)。

2.1 主量元素和岩相学特征

除去烧失量后, 将所有变量重新换算成 100%, 在 $K_2O - SiO_2$ 图上 (Peccerillo A & Taylor S R, 1976)

收稿日期: 2002 - 11 - 14; 改回日期: 2002 - 12 - 18

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2 - 102) 和原地矿部“九五”基础研究重点项目 (9501101 - 5)。

作者简介: 刘焱 (1974 -), 男, 博士研究生, 岩石学和地球化学专业。

表 1 超钾质火山岩的主量元素(%)分析结果

Table 1 Major elements composition of ultrapotassium volcanic rocks

样品号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOL
Qhcb13	白榴石响岩	55.51	0.26	19.45	2.65	1.13	0.15	0.15	2.36	7.76	7.64	0.03	2.91	99.98
Qhcb6	白榴石响岩	56.07	0.27	19.7	2.53	1.24	0.16	0.14	1.78	7.32	8.28	0.03	1.98	99.5
Qhcb7	白榴石响岩	55.25	0.27	19.41	2.6	1.24	0.16	0.11	1.94	8.11	8.2	0.03	2.45	99.77
Qhcb8	白榴石响岩	55.09	0.27	19.43	2.51	1.38	0.16	0.1	1.91	8.15	7.77	0.02	1.67	98.46
Qhcb9	白榴石响岩	55.41	0.61	19.34	2.76	1.1	0.13	0.68	2.72	4.66	8.48	0.13	3.43	99.45
Qyb1	响岩质碱玄岩	52.35	1.15	15.53	4.25	2.78	0.19	2.49	6.54	3.8	5.46	0.5	4.34	99.38
Qyb1-1	响岩质碱玄岩	52.03	1.19	15.41	4.34	2.86	0.19	2.46	6.72	3.79	5.67	0.5	4.33	99.49
Qyb10	白榴石响岩	55.95	1.24	16.99	6.1	0.09	0.16	0.71	2.38	2.32	9.96	0.2	3.29	99.39
Qyb2	白榴石响岩	55.98	0.87	14.09	6.77	2.07	0.23	0.3	4.23	6.57	6.53	0.07	2.12	99.83
Qyb2-1	碱玄质响岩	52.64	1.12	17.64	4.6	1.22	0.22	0.81	5.01	2.95	8.28	0.14	4.89	99.52
Qyb3	碱玄质响岩	55.48	1.15	17.52	4.96	0.81	0.16	0.91	3.47	2.49	9.2	0.2	4.08	100.4

表 2 超钾质火山岩的微量元素($\mu\text{g/g}$)分析结果

Table 2 Trace elements composition of ultrapotassium volcanic rocks

样品号	Qhcb13	Qhcb6	Qhcb7	Qhcb8	Qhcb9	Qyb1	Qyb1-1	Qyb10	Qyb2	Qyb2-1	Qyb3
Ba	76.29	113.88	93.64	120.91	946.83	6623.9	6940.7	2774.2	1739.5	2078.3	2573.6
Rb	289	285	284	303	204	123	65	107	127	96	158
Sr	932	961	932	1015	2455	7221	5845	4767	6678	5619	4848
Y	38	37	33	40	41	61	50	50	88	57	44
Zr	1181	1222	1212	1216	690	728	742	947	1020	827	760
Nb	56.9	59.2	57.4	58.9	56	74.8	69.1	104	83.4	91.1	86.3
Th	152.7	159.2	146.2	170.4	122.9	95.1	57.7	50.4	137	90.3	88.1
Ni	3.6	3.4	3.2	4	6.9	25	23.3	6.1	3.3	7.5	7.3
V	47	48	45	47	61	121	116	97	165	98	98
Cr	5	5	4	6	11	38	39	8	4	7	9
Hf	25.1	26.2	25.5	25.3	18.3	15.9	15	19	20.6	7.5	16.2
Ta	1.3	1.4	1.3	1.4	2.6	3.6	3.4	5.2	3.1	4.6	4.5
Co	2.6	2.4	2	2.4	4.1	13.1	12.5	7.8	5.4	6	6
U	25.12	36.09	34.16	40.59	12.91	4.37	3.77	13	17.01	6.99	4.5
Ti	1619	1619	1619	3657	6894	7134	7434	5216	6714	6894	5396
Pb	413.7	428.1	403	451.7	133.4	174.9	139.8	199.7	283.4	188.8	190.9
Sc	3.52	4.88	4.9	4.07	5.55	8.46	8.24	4.03	5.96	4.87	5.58
W	11.7	16.4	7.05	9.84	12.2	5.51	8.62	10.7	19.1	7.91	7.83
La	346	276.46	236.73	338.48	326.91	361.88	269.02	262.78	657.8	395.83	341.57
Ce	500	473.43	455.91	474.92	643.87	675.34	620.49	682.7	1153.5	664.26	631
Pr	*	31.53	27.37	38.47	59.3	77.33	62.71	56.64	122.71	70.89	64.28
Nd	126	78.67	68.75	92.42	165.54	230.95	192.48	166.06	337.84	200.04	182.15
Sm	14.9	11.24	9.73	13.32	27.02	39.45	34.02	27.72	53.2	31.95	29.58
Eu	2.94	2.84	2.38	3.12	6.03	9.23	8.13	7.11	12.95	7.99	7.11
Gd	8.14	8.44	7.36	8.34	15.3	22.47	20.33	16.74	29.64	18.02	16.07
Tb	1.09	1.14	0.98	1.23	2.01	2.89	2.56	2.21	3.96	2.44	2.13
Dy	*	5.78	5.02	6.14	8.71	12.31	11	10.13	17.25	10.77	9.12
Ho	1.28	1.11	0.96	1.18	1.48	2.11	1.93	1.8	3.01	1.95	1.58
Er	*	3.39	2.94	3.55	4.19	5.95	5.28	5.12	8.52	5.51	4.42
Tm	0.53	0.54	0.47	0.55	0.54	0.77	0.71	0.72	1.15	0.75	0.57
Yb	3.3	3.5	3.1	3.5	3.25	4.67	4.19	4.3	6.79	4.41	3.36
Lu	0.49	0.55	0.49	0.55	0.49	0.69	0.62	0.64	1.02	0.66	0.48
ΣREE	*	898.6	822.19	985.77	1264.2	1446	1233.5	1244.7	2409.4	1415.5	1293.4
(La/Yb) _N	62.25	46.9	45.34	57.42	59.72	46.01	38.12	36.29	57.52	53.29	60.36
(Ce/Yb) _N	30.63	27.34	29.73	27.43	40.04	29.23	29.93	32.09	34.34	30.45	37.95
δEu	-0.18	-0.11	-0.14	-0.1	-0.09	-0.05	-0.05	0.01	0	0.02	0

表 3 超钾质火山岩的同位素分析结果
Table 3 Isotopic analyzed results of ultrapotassium volcanic rocks

样品号	岩石名称	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ($\pm 2\sigma$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ($\pm 2\sigma$)	ϵ_{Nd}	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Qhcb13	白榴石响岩	1.7342	0.70906 \pm 11	0.0959	0.51252 \pm 6	-1.94	40.18	16.16	19.26
Qhcb7	白榴石响岩	1.4998	0.70875 \pm 10	0.0760	0.51219 \pm 7	-8.35	39.39	15.83	18.87
Qhcb8	白榴石响岩	1.3229	0.70887 \pm 9	0.0763	0.51258 \pm 5	-0.45	39.71	15.93	18.98
Qhcb9	白榴石响岩	0.4035	0.70844 \pm 10	0.0989	0.51231 \pm 8	-6.16	39.56	15.87	18.91
Qyb1-1	响岩质碱玄岩	0.0293	0.70943 \pm 11	0.0994	0.51222 \pm 7	-7.88	40.10	16.01	19.33
Qyb10	白榴石响岩	0.1254	0.70985 \pm 10	0.0866	0.51219 \pm 6	-8.36	39.78	15.89	19.15
Qyb2	白榴石响岩	0.1386	0.70986 \pm 10	0.0862	0.51228 \pm 7	-6.68	40.71	16.26	19.64
Qyb2-1	碱玄质响岩	0.0872	0.70945 \pm 12	0.0880	0.51228 \pm 8	-7.87	39.99	15.98	19.26
Qyb3	碱玄质响岩	0.1390	0.70948 \pm 11	0.0842	0.51228 \pm 5	-6.67	40.45	16.18	19.51

注: 主量元素在中国地质科学院地质实验测试中心用 XRF 方法完成; 微量元素和同位素在中国科学院广州地球化学研究所同位素分析中心分别用 ICP-MS 和同位素稀释法完成, Qhcb 为巴毛穷宗样品, Qyb 为鱼鳞山样品, * 表示低于检出值, $\delta\text{Eu} = \text{Eu}_N/\text{Eu}^* - 1$, $\text{Eu}^* = (\text{Sm}_N \times \text{Nd}_N)^{1/2}$

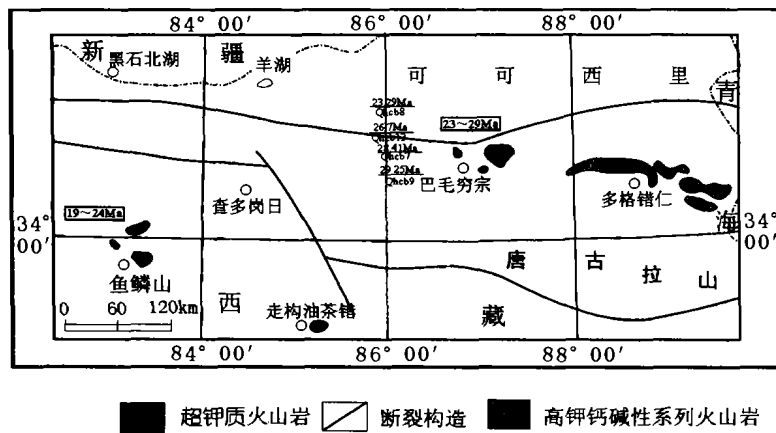


图 1 羌塘地区钾质火山岩分布图

Fig. 1 Distributed diagram for potassic volcanic rocks in the Qiangtang area

(图 2A), 除一点属钾玄岩系列外, 其余样品全部属超钾质系列岩石。大部分样品的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值大于 2。在 TAS 图解 (Le Maitre R W, 1989) (图 2B) 中, 鱼鳞山火山岩主要为粗面岩、响岩、碱玄质响岩, 另外出露少量粗面玄武岩和玄武粗安岩; 而巴毛穷宗岩区主要为白榴石响岩类。两岩区超钾质火山岩 SiO_2 范围在 46% ~ 60%, 属基-中性岩类, 与藏北其它地区钾质岩相比, 更富碱 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 普遍大于 10%), 属于碱性岩。在以 MgO 为横坐标的 Harker 图解中 (图 3), 总体反映出在成岩过程中存在磷灰石、单斜辉石和钛铁矿等矿物的分离结晶作用 (李献华等, 1999); 超钾质火山岩的 MgO 含量普遍小于 1.2%, 只有少数样品 > 2.3% 和一个样品较大 (约为 3.8%), 反映它们在源区组成和成岩过程上可能存在着差异。

火山岩岩相上以裂隙式和喷溢式为主; 地貌景观多呈残丘状, 且火山岩中均有沉积夹层, 表明它们的现今地貌是后期构造抬升侵蚀的结果; 构造上可能与新生代早期藏北地区南北向拉伸作用有关 (潘桂棠等, 1990)。火山岩与周围地层间呈不整合接触关系。白榴石响岩为深灰至灰黑色, 块状构造, 斑状 (响岩) 结构, 斑晶 (25%) 为自形的白榴石, 辉石和斜长石, 基质 (70%) 为透长石和碱性玻璃。碱玄质响岩为暗绿色, 具板状构造, 斑晶组成为透长石 (45% ~ 50%), 辉石 (20%) (普通辉石和透辉石) 和少量黝方石和霞石 (5%), 基质为中长石和辉石等 (25%)。响岩质碱玄岩为灰黑色斑状结构, 斑晶

(45%) 主要为辉石和少量橄榄石 (可能为捕虏晶), 基质 (30%) 主要由中基性斜长石、碱性长石等组成。碱玄质响岩和响岩质碱玄岩样品中少量发生碳酸岩化现象。

2.2 微量元素

表 1 中, 两岩区火山岩相比, 巴毛穷宗岩区的稀土含量较鱼鳞山低, 前者 ΣREE 为 822 ~ 1264 $\mu\text{g/g}$, 平均为 992.69 $\mu\text{g/g}$, (La/Yb)_N 比值为 45 ~ 63; 而后者对应为 1233 ~ 2409 $\mu\text{g/g}$, 1507.08 $\mu\text{g/g}$ 和 36 ~ 61。在球粒陨石标准化 (Taylor and McLennan, 1985) 配分模式中 (图 4A), 两岩区都为 LREE 强烈富集的右倾型, 重稀土分馏不明显, 所有样品都不表现明显的 Eu 异常 ($\delta\text{Eu} = 0.02 \sim -0.18$)。

两岩区中火山岩的 Cr、Ni 含量都较低 (表 1), 暗示超钾质火山岩可能为地幔岩的低度部分熔融或幔

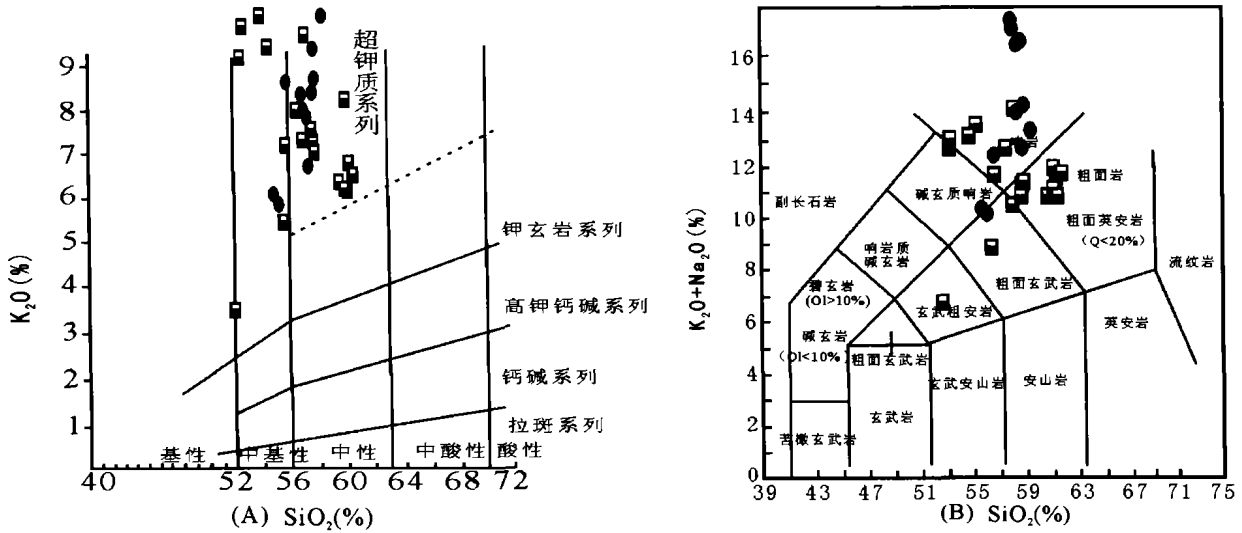


图 2 超钾质火山岩岩石化学分类图

系列划分(2A)据 Peccerillo A & Taylor S R(1976),全碱-SiO₂图解(2B)据 Le Maitre R W(1989),
●为本文数据,其它引自文献(丁林等,1999),以下图例相同

Fig. 2 Petrochemical classification diagrams for ultrapotassium volcanic rocks

源岩浆分离结晶或两者共存下的产物。在相对原始地幔标准化(Sun and McDonough, 1989)配分模式中(图 4B),超钾质火山岩都强烈富集大离子亲石元素 K、Rb、Sr、Th 和 Pb 等,考虑 LREE 的强烈富集特性,共同表现出大陆裂谷钾质火山岩的特征。本文测试样品普遍反映出 Ba 的亏损特性,可能为钾长石、黑云母等矿物分离结晶的结果, Nb、Ta、Ti、P 的亏损,暗示了岩浆源区古俯冲作用的存在(邱瑞龙, 1998), Zr、Hf 的相对亏损,暗示与流体交代岩石圈地幔相关(李献华等, 1997)。

2.3 Sr、Nd、Pb 同位素

超钾质火山岩两岩区 Sr、Nd 同位素比值存在着差异(表 1, 图 5A),反映源区的不同,但它们都具有较高的放射成因 Sr 和非放射成因 Nd 含量,暗示源区存在大量的地壳物质。投影点都位于第四象

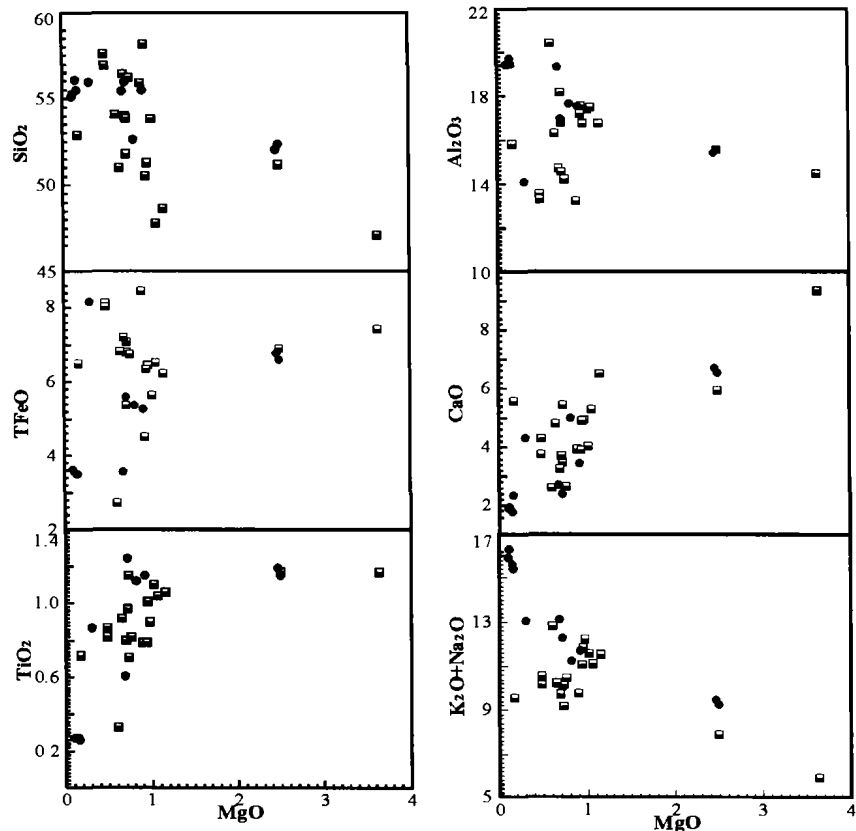


图 3 超钾质火山岩主量元素 Harker 图解

Fig. 3 Major elements Harker diagrams for ultrapotassium volcanic rocks

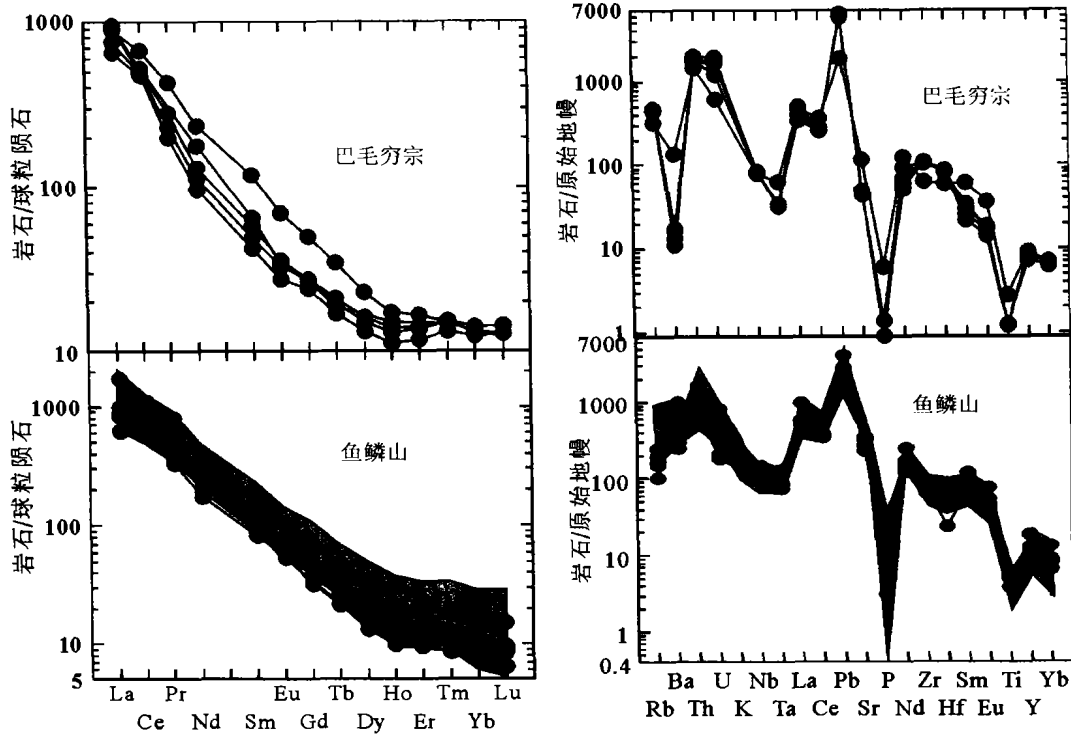


图 4 超钾质火山岩稀土元素球粒陨石标准化和微量元素原始地幔标准化图解

[阴影部分据丁林(1999),其余为本文数据,标准化值据 Taylor and McLennan(1985)]

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized spidergram for ultrapotassium volcanic rocks

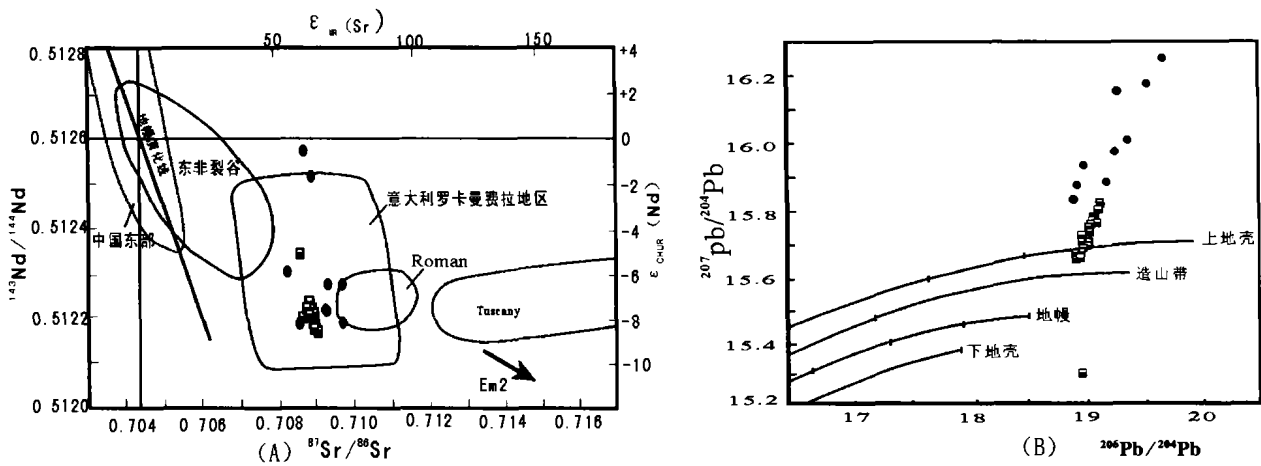


图 5 超钾质火山岩的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (A)和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (B)图解

Fig. 5 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (A) and $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (B) diagrams for ultrapotassium volcanic rocks

限富集区内,与意大利罗卡曼芬拉钾质火山岩的 Sr、Nd 同位素一致。说明它们在源区组成上也存在着一定的相似性(高 Sr,低 Nd)。对于同一岩区 Sr、Nd 同位素比值却较集中,表明源区是统一的,也暗示岩浆在上升过程中没有受到地壳物质的混染作用(丁林等,1999),但不否定岩浆混合作用的影响。

在 Zartman 铅模式(Zartman, 1981) ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)图解(图 5B)中,所有样品都表现了上地壳的铅同位素组成特征,且各样品明显呈线性排列。暗示岩浆源区存在大量的地壳成分(可能为源区混合,地壳混染或交代作用的结果)。

大量上地壳物质与地幔岩发生混合作用产生的

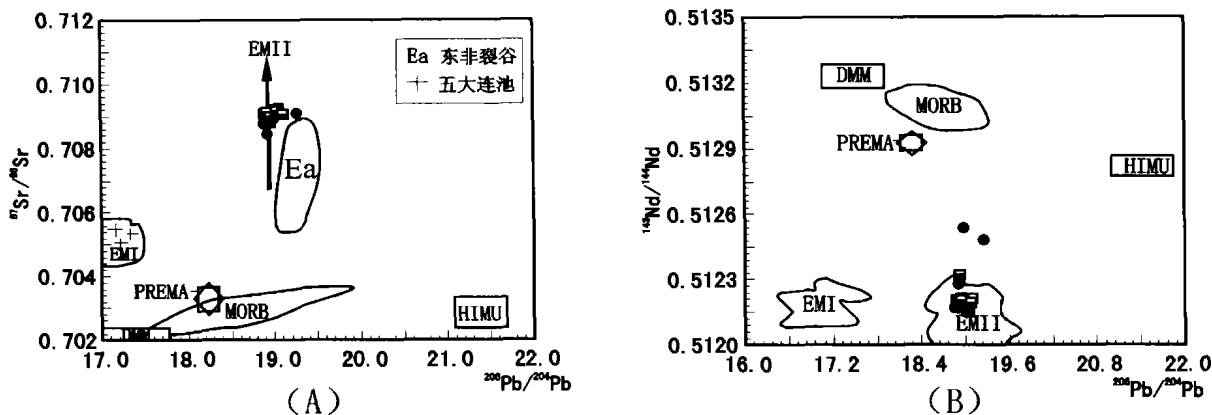


图 6 超钾质火山岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (A)与 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (B)图解
 Fig. 6 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (7A) and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (7B) diagrams for ultrapotassium volcanic rocks

富集地幔源区组成类似于 Hart(Hart, 1984) 鉴别的 EMII 型地幔端元。这与 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 与 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解(图 6)所反映出的信息一致,即超钾质火山岩都位于 EMII 一端。进一步说明超钾质岩源区的富集特性。

3 成因讨论

3.1 分离结晶和部分熔融作用

实验表明,地幔岩发生 <2% 的部分熔融可以产生类似的超钾质岩浆。从以上分析可知,研究区火山岩来自富集地幔,但来源于地幔的岩浆以何种方式形成的呢? 根据瑞利分馏原理,可以利用某亲湿岩浆元素与亲岩浆元素含量比值对亲湿岩浆元素含量作图(如 La/Sm - La)来讨论岩浆岩的成岩方式,在图中平衡部分熔融的轨迹为一斜率为 D 的斜线,而分离结晶作用则为一水平线(赵振华, 1997),从 La/Sm - La 图解(图 7)可看出,巴毛穷宗和鱼鳞山两岩区火山岩都为分离结晶作用形成的,与前人(Cocherine, 1986; 丁林等, 1999)的研究结果存在分歧。

同时在 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ 图中(图略),两者的正相关性特别明显,此为单斜辉石的晶出所致(刘丛强等, 1995)。火山岩中 Nb、Ti、Zr、P 的亏损,直接反映了在成岩过程中可能存在着金红石、榍石、钛铁矿、锆石分离结晶现象。另在稀土配分曲线中,来自同一源区的样品之间存在着相交现象,说明它可能不是一次性母岩浆分离结晶的产物,而是岩浆房多次岩浆充填并分离结晶的结果(李曙光等, 1997)。充分的证据表明,超钾质火山岩并非主要来自地幔岩

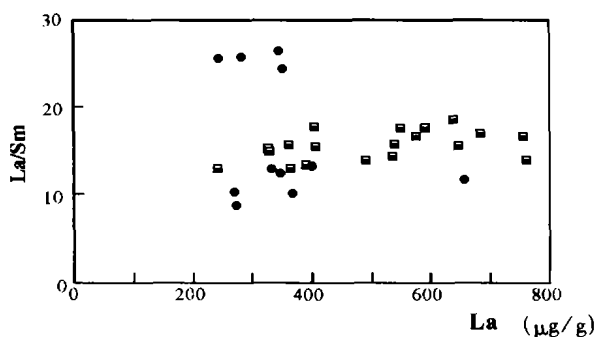


图 7 超钾质火山岩的 La - La/Sm 相关图
 Fig. 7 La-La/Sm diagram for ultrapotassium volcanic rocks

的低度部分熔融(<2%),而主要为分离结晶作用的产物。

3.2 源区特征

主量元素、微量元素、稀土元素和同位素组成表明,研究区内超钾质火山岩主要来自富集交代型地幔源区,即 EMII 型富集地幔端元。通常认为这种富集性是上地壳与地幔相互作用的结果。那么到底是由岩浆上升过程中遭受上地壳物质混染引起的还是源区富集所致呢? 火山岩中普遍具有低的 ϵ_{Nd} 值特征应非岩浆上升过程中强烈地壳物质混染所致,那么大量的上地壳成分只能通过俯冲(可能为 B + A 型)作用进入地幔,形成壳幔混合的富集源区。

超钾质火山岩相对富钾性,也说明它们不可能从普通地幔中产生,而可能来自一富含金云母和角闪石等矿物的交代富集地幔(李天福等, 1998),因为通过俯冲作用,上地壳物质(或析出流体)进入上地

幔,加上地幔上升流体,共同与上地幔源区发生强烈的交代作用,各种性质不同的交代介质与源区地幔的反应形成了储存 K 的金云母,成为超钾质岩浆中 K 的来源。

伴随新特提斯洋的闭合,两大板块发生接触,羌塘地块构造上受到两大动力体系的制约,其一为印度板块对欧亚板块的持续碰撞,其二为两大板块碰撞拼贴之后板块内部进一步的陆内造山作用(A型俯冲),这些因素联合作用的结果必将引起地壳的加厚和缩短(产生厚壳薄幔的原因),大量上地壳物质以楔型俯冲进入地幔,产生壳幔混合作用,同时区内地幔的热结构将发生变化。在地幔热事件的影响下,来自地幔深部的富含挥发份和不相容元素的流体沿地幔中的构造薄弱带上移,与俯冲富钾沉积物(上地壳物质)一起对上地幔进行广泛而强烈的交代,形成富钾、轻稀土和大离子亲石元素的富集型地幔,同时由于交代流体挥发份的存在及超壳断裂的减压作用,从而降低了地幔岩石的熔点,促使了富集型地幔的熔融,产生大规模的钾质岩浆活动。另外,陆壳的挤压和缩短可更好地封闭产生在 Moho 面之上的底侵的壳底岩浆池(海),从而有利于底侵原始岩浆在深部发生一系列变化,包括岩浆的堆晶作用,分离结晶作用,壳幔混合作用和再熔融作用。原始岩浆首先在深部岩浆房中发生了富铁镁物质的堆晶作用,岩浆上升过程中又发生了以单斜辉石为主的强烈的分离结晶作用,从而形成富含钾、轻稀土和大离子亲石元素,亏损 Cr、Ni 等相容元素且贫 MgO 的超钾质火山岩。

3.3 陆内俯冲与拆沉作用

藏北新生代火山作用直接受板内变形构造的控制,目前关于藏北钾质-超钾质火山岩的成因分歧较大。其中陆内俯冲和岩石圈增厚-减薄理论(拆沉学说)是两种不同成因认识的典型代表(邓万明,1991;Chung *et al.*,1998;Turner *et al.*,1996)。大量的证据表明(邓万明,1998),伴随印度板块和欧亚大陆的碰撞,青藏高原内存在大量的以陆内俯冲为主的俯冲作用。此种机制能使大量地壳物质进入地幔,与地幔物质发生交代作用,从而产生 EMII 型交代富集地幔端元(邓万明等,1997)。随着印度板块和欧亚大陆碰撞挤压的持续进行,高原内部岩石圈发生了大规模的南北向缩短、垂向增厚变形。由于重力、热力和物质组成上的不稳定,加厚的岩石圈底部可能发生相变(榴辉岩相)而密度变大,发生岩石圈拆沉作用。但拆沉作用是否存在或大范围地存在于藏北乃

至整个青藏高原内部,目前还存在着较大的争议。因为拆沉学说是建立在岩石圈增厚的基础上的,用它合理地解释藏北高原厚壳薄幔特征,但在解释高原隆升问题时目前遇到了很多疑点(迟效国等,1999;Chung *et al.*,1998;England *et al.*,1986;孔祥儒等,1996;Platt *et al.*,1994;Turner *et al.*,1996)。故笔者认为拆沉作用是否为一种成岩机制还有待以后进一步研究。

4 结 论

(1) 羌塘超钾质火山岩为碰撞后产物, K_2O 普遍大于 6.5%。同时具有板内火山岩(强烈富集轻稀土和大亲石元素 K、Rb、Sr、Th、Pb 等)和俯冲带岛弧火山岩(亏损 Nb、Ta、Ti、P)的双重地球化学特性。同位素方面具有高 Sr、Pb 和低 Nd 的特征。

(2) 超钾质火山岩的形成具有多物源(壳幔相互作用)和多成因(堆晶作用和分离结晶作用)特征。

(3) 岩浆源区存在大量通过俯冲作用进入的地壳物质成分,为古俯冲上地壳交代的富集型地幔(EMII 型富集地幔端元),源区组成富含角闪石和金云母等矿物。

(4) 在成岩过程中,陆内俯冲作用为壳幔混合交代提供了不可少的物源和构造条件,而拆沉作用的影响还有待研究。

致谢 衷心感谢吴福元教授和邱检生教授的指导与帮助,西藏地质二队提供了野外方便。

参考文献:

- 迟效国,李才,金巍等. 1999. 藏北新生代火山作用的时空演化与高原隆升. 地质论评(增刊), 45: 978-985.
- 邓万明. 1991. 中昆仑造山带钾质火山岩的地质、地球化学和时代. 地质科学, 3: 193-206.
- 邓万明. 1998. 青藏高原北部新生代板内火山岩. 北京: 地质出版社.
- 邓万明, 钟大赉. 1997. 壳幔过渡带及其在岩石圈构造演化中的地质意义. 科学通报, 42(23): 2474-2482.
- 丁林, 张进江, 周勇等. 1999. 青藏高原岩石圈演化的记录: 藏北钾质及钠质火山岩的岩石学与地球化学特征. 岩石学报, 15(1): 408-421.
- 孔祥儒, 王谦身, 熊绍柏. 1996. 青藏高原西部综合地球物理与岩石圈结构研究. 中国科学(D 辑), 26(4): 308-315.
- 李曙光, 聂永红, 郑双根等. 1997. 俯冲陆壳与地幔的相互作用(I): 大别山同碰撞镁铁-超镁铁岩的主要元素及痕量

- 元素地球化学. 中国科学(D 辑), 27(6):488-493.
- 李天福, 马鸿文. 1998. 钾质火山岩的成因研究. 地质学报, 5(3):133-142.
- 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 1997. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. 地球化学, 26(2):14-31.
- 李献华, 李寄岷, 刘颖等. 1999. 华夏古陆元古代变质火山岩的地球化学特征及其构造意义. 岩石学报, 15(3):364-371.
- 刘丛强, 解广轰, 增田彰正. 1995. 中国东部新生代玄武岩的地球化学-I. 主元素和微量元素组成: 岩石成因及源区特征. 地球化学, 24(1):1-19.
- 刘颖, 刘海臣, 李献华. 1996. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素. 地球化学, 25(6):552-558.
- 潘桂棠, 王培生, 徐耀荣等. 1990. 青藏高原新生代构造演化. 北京:地质出版社, 32-58.
- 邱瑞龙. 1998. 九华山花岗岩岩浆分异特征及岩石成因. 岩石矿物学杂志, 17(4): 308-315.
- 谭富文, 潘桂棠, 徐强. 2000. 羌塘腹地新生代火山岩的地球化学特征与青藏高原隆升. 岩石矿物学杂志, 19(2):121-130.
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理. 北京:科学出版社, 1-169.
- References:**
- Chi Xiaoguo, Li Cai, Jin Wei, *et al.* 1999. Spatial-temporal evolution of Cenozoic volcanism in northern Tibet and the uplifting of Qinghai-Xizang Plateau. *Geological Review*, 45(Sup): 978-985 (in Chinese with English abstract).
- Chung S L, Lo CH, Lee T Y, Zhang Y Q, Xie Y W, Li X H, Wang K L and Wang P L. 1998. Diachronous uplift of the Tibetan Plateau starting 40 Ma ago. *Nature*, 394: 769-773.
- Cocherine. 1986. Systematic use of trace element distribution patterns in log-log diagram for plutonic suites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1: 2 517-2 522.
- Deng Wanming. 1991. Geology, geochemistry and age of shoshonitic lavas in the central Kunlun orogenic belt. *Chinese Journal of Geology*, 3: 193-206 (in Chinese with English abstract).
- Deng Wanming. 1998. Cenozoic intraplate volcanic rocks in the northern Qinghai-Xizang Plateau. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Deng Wanming and Zhong Dalai. 1997. Crust and mantle transition belt and the significance in the evolution of lithospheric structure evolution. *Chinese Science Bulletin*, 42(23): 2 474-2 482 (in Chinese).
- Ding Lin, Zhang Jinjiang, Zhou Yong, *et al.* 1999. Tectonic implication on the lithosphere evolution of the Tibet Plateau: Petrology and geochemistry of sodic and ultrapotassic volcanism in northern Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 408-421 (in Chinese with English abstract).
- England P C and Houseman G A. 1986. Finite strain calculations of continental deformation, II application to the Indian-Asian plate collision. *J Geophys Res*, 91: 3 664-3 667, 2 474-2 482.
- Hart S R. 1984. A large-scale isotope anomaly in the southern hemisphere mantle. *Nature*, 309: 753-757.
- Kong Xiangru, Wang Qianshen and Xiong Shaobo. 1996. The research of synthetical geophysics and lithosphere configuration of the west of Tibet Plateau. *Science in China (Series D)*, 26(4): 308-315 (in Chinese).
- Le Maitre R W, ed. 1989. Classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the international union of geological sciences subcommission on the systematics of igneous rocks. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 193.
- Li Shuguang, Nie Yonghong and Zheng Shuanggei, *et al.* 1997. The interaction of subducted continental crust and mantle-I: Major elements and trace elements geochemical characteristics of syn-collision mafic and ultramafic rocks in Dabie mountains. *Science in China(Series D)*, 27(6): 488-493 (in Chinese).
- Li Tianfu and Ma Hongwen. 1998. The research for the petrogenesis of potassic volcanic rocks. *Earth Science Frontiers*, 5(3): 133-142 (in Chinese).
- Li Xianhua, Hu Ruizhong and Rao Bing. 1997. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China. *Geochimica*, 26(2): 14-31 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Li Jiyu, Liu Ying, *et al.* 1999. Geochemistry characteristics of the Paleoproterozoic meta-volcanics in the Cathaysia block and its tectonic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 364-371 (in Chinese with English abstract).
- Liu Congqiang, Xie Guanghong and Zeng Tianzhangzheng. 1995. Geochemistry of Cenozoic basalts from eastern China(I): Major element and trace element petrogenesis and characteristics of mantle source. *Geochimica*, 24(1): 1-19 (in Chinese with English abstract).
- Liu Ying, Liu Haichen and Li Xianhua. 1996. Simultaneous and precise determination of 40 trace elements in rock samples using ICP-MS. *Geochimica*, 25(6): 552-558.
- Pan Guitang, Wang Peisheng, Xu Yaorong, *et al.* 1990. The Cenozoic tectonic evolution of the Qinghai-Tibet Plateau. Beijing: Geological Publishing House, 32-58 (in Chinese).
- Peccerillo A and Taylor S R. 1976. Chemistry of Eocene calc-alkaline rocks from the Kastamonu area. Northern Turkey. *Contr Miner Petr*, 58: 63-81.
- Platt J P and England P C. 1994. Convective removal of lithosphere beneath mountain belts: Thermal and mechanical

- consequences. *Am J Sci*, 294: 307 – 336.
- Qiu Ruilong. 1998. Magmatic differentiation and genesis of Jiuhuashan granite. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 17(4): 308 – 315 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saundern A D and Norry M J, eds. *Magmatism in the ocean basins. Geol Soc Spec Publ*, 42: 313 – 345.
- Tan Fuwen, Pan Guitang and Xu Qiang. 2000. Geochemical characteristics of Cenozoic volcanic rocks in Qiangtang hinterland and the uplift of Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(2): 121 – 130 (in Chinese with English abstract).
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. *The continental crust: Its composition and evolution*. Oxford: Blackwell.
- Turner S, Arnaud N, Liu J, *et al.* 1996. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of lithosphere and source of ocean island basalts. *Journal of Petrology*, 37(1): 45 – 71.
- Zhao Zhenhua. 1997. *The principle of trace elements geochemistry*. Beijing: Science Press, 1 – 169 (in Chinese).
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics – the model. *Tectonophysics*, 75: 135 – 162.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND PETROGENESIS OF THE POST-COLLISION ULTRAPOTASSIUM VOLCANIC ROCKS IN QIANGTANG ROCK ZONE

LIU Shen^{1,2}, HU Rui-zhong¹, CHI Xiao-guo³, LI Cai³,
FENG Cai-xia^{1,2} and WANG Tian-wu³

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China*; 2. *Graduate school of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*; 3. *Geoscience College of Jilin University, Jilin 130061, China*)

Abstract: The ultrapotassium volcanic rocks result from the collision between the India plate and Asia plate in the Qiangtang rocks zone, their geochemical characteristics imply that they have the characteristics of the K-rich volcanic rocks of internal plate and island arc occurring in the subducted belt. They are rich in LREE and LILE, while depleted in incompatibility elements (Cr, Ni, etc.). The petrogenesis is restricted by fractional crystallization and the provenance contamination by the upper crust in source. The source of the rocks belongs to the EMII-type enriched mantle resulted from the metasomatism between upper mantle and the fluids coming from lower mantle or the upper crust dipping into the mantle by subduction, maybe contains abundantly hornblende and phlogopite etc.

Key words: Qiangtang; Ultrapotassium volcanic rocks; Geochemistry; Enriched mantle; Petrogenesis